

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Peperiksaan Semester Pertama
Sidang Akademik 1997/98

September 1997

EMK 351 - Getaran Mekanik & Kawalan Automatik

Masa : [3 jam]

ARAHAN KEPADA CALON:

Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi **EMPAT BELAS** muka surat, **SATU** lampiran dan **LAPAN** soalan yang bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan ini.

Jawab **ENAM** soalan, **TIGA** soalan dari Bahagian A dan **TIGA** soalan dari Bahagian B.

Sekurang-kurangnya satu (1) soalan hendaklah dijawab dalam Bahasa Malaysia. Lain-lain soalan hendaklah dijawab samada dalam Bahasa Malaysia atau Bahasa Inggeris.

Jawapan bagi setiap soalan hendaklah dimulakan dengan muka surat yang baru

Termasuk Lampiran:

1. Laplace Transform Pairs

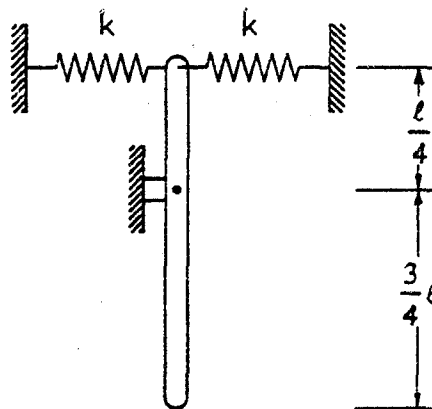
...2/-

BAHAGIAN A:

- S1. [a] Sebatang bar langsing yang seragam dengan jisim m dan panjang l digantung menegak pada satu titik yang berada pada jarak $\frac{\ell}{4}$ dari hujung atasnya seperti yang ditunjukkan dalam Rajah S1[a]. Bahagian atas bar pula disambungkan kepada 2 pegas dengan pekali kekakuan K bagi setiap satu pegas itu. Tentukan frekuensi tabii (dalam Hz) sistem dengan membuat andaian bahawa amplitud gerakan adalah kecil dan $K = 4000 \text{ N/m}$, $m = 10 \text{ kg}$ and $l = 0.80 \text{ m}$.

A uniform slender bar of mass m and length l hangs vertically at a quarter point of length as shown in Figure Q1[a]. The top of the bar is attached to two springs each having stiffness K . Find the natural frequency (in Hz) of the system assuming the amplitude of motion to be small and that $K = 4000 \text{ N/m}$, $m = 10 \text{ kg}$ and $l = 0.80 \text{ m}$.

(60 markah)

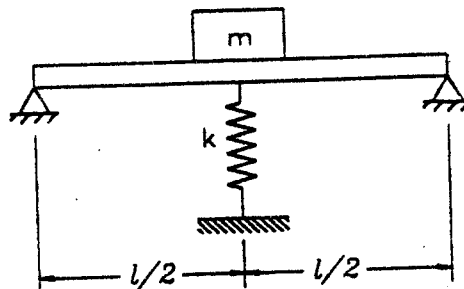


Rajah S1[a]
Figure Q1[a]

- [b] Sebuah mesin dengan jisim $m = 500$ kg dipasang di tengah-tengah sebatang rasuk sangga mudah yang panjangnya $l = 2$ m, momen inersia $I = 10^{-4} \text{ m}^4$, Modulus Young $E = 206$ GPa dan jisim rasuk tersebut boleh diabaikan. Untuk mengurangkan pesongan menegak rasuk, sebatang pegas dengan kekakuan k dipasangkan pada tetengah rasuk seperti yang ditunjukkan dalam Rajah S1[b]. Tentukan nilai k yang diperlukan untuk mengurangkan pesongan rasuk kepada $\frac{1}{3}$ nilai pesongan asalnya.

A machine of mass $m = 500$ kg is mounted on a simply supported steel beam of length $l = 2$ m, moment of inertia $I = 10^{-4} \text{ m}^4$, Young's modulus $E = 206$ GPa, and the mass of beam assumed as negligible. To reduce the vertical deflection of the beam, a spring of stiffness k is attached at the mid-span, as shown in Figure Q1[b]. Determine the value of k needed to reduce the deflection of the beam to one-third of its original value.

(40 markah)

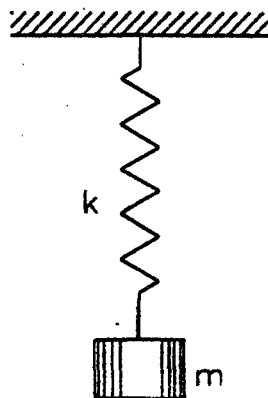


Rajah S1[b]
Figure Q1[b]

- S2. [a] Dengan menggunakan kaedah tenaga, tentukan kesan jisim pegas ke atas frekuensi tabii bagi sistem pegas jisim yang ditunjukkan dalam Rajah S2[a]. k adalah kekakuan pegas dan m adalah jisim untuk sistem.

Using energy method, determine effect of the mass of the spring on the natural frequency of the spring-mass system shown in Figure Q2[a]. k and m represent stiffness and mass respectively in the system.

(50 markah)



Rajah S2[a]

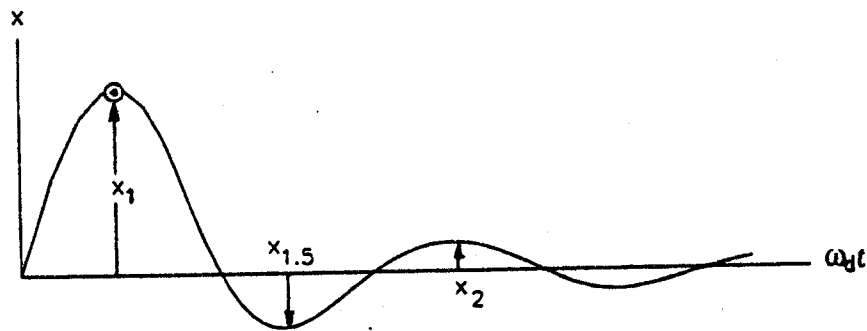
Figure Q2[a]

- [b] Satu sistem ampaian penyerap hendak akan direkabentuk bagi sebuah kenderaan. Redaman adalah kurang dari nilai kritikal dan amplitud asal hendak dikurangkan kepada $\frac{1}{4}$ nilai separuh kitaran pertama ($x_{1.5} = x_1/4$). Oleh itu lengkung anjakan melawan masa akan menjadi seperti yang ditunjukkan dalam Rajah S2[b]. Jisim kenderaan adalah 500 kg dan tempoh getaran diredam adalah 1 saat. Tentukan kekakuan k dan pekali redaman c yang diperlukan oleh penyerap hentak tersebut.

...5/-

A suspension shock-absorber system is to be designed for a vehicle. The damping is to be less than critical and the initial amplitude is to be reduced to one-fourth in the first half cycle ($x_{1.5} = x_1/4$). Thus the displacement time curve will be as shown in Figure Q2[b]. The mass of the vehicle is 500 kg and the damped period of vibration is to be 1 second. Find the necessary stiffness and damping constants of the shock absorber.

(50 markah)

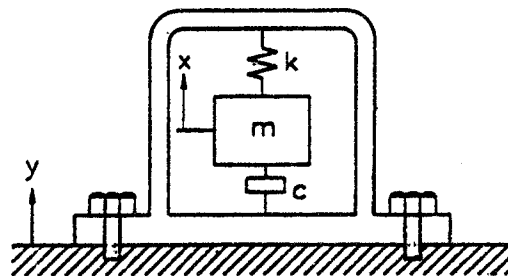


Rajah S2[b]
Figure Q2[b]

- S3. [a] Elemen-elemen asas bagi kebanyakan peralatan pengukuran getaran adalah unit seismik seperti yang ditunjukkan dalam Rajah S3[a] di mana k mewakili pegas, m mewakili jisim dan c mewakili pekali remanan. Anjakan jisim seismik diwakili oleh x dan anjakan badan dalam (i.e. kotak) diwakili oleh y . Dengan menggunakan persamaan-persamaan gerakan harmonik untuk sistem, dapatkan perhubungan bagi halaju melawan frekuensi yang boleh digunakan oleh pengesan halaju itu.

The basic element of many vibration-measuring instruments is the seismic unit as shown in Figure Q3[a], where k , m , c represent spring stiffness, mass and coefficient of damping and x , y are the displacement of the seismic mass and the vibrating body (i.e. the case) respectively. Using the equations of harmonic motion of the system, obtain the relationship for the velocity versus frequency applicable to the velocity pick up.

(50 markah)



Rajah S3[a]

Figure Q3[a]

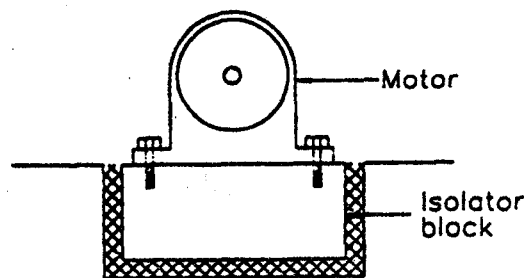
- [b] Sebuah motor elektrik berjisim 68 kg dipasang di atas blok pengasing yang berjisim 1200 kg. Frekuensi tabii bagi keseluruhan sistem itu adalah 3 Hz dengan faktor redaman $\xi = 0.10$. (Rujuk Rajah S3[b]). Jika ketidakimbangan di dalam motor menghasilkan daya harmonik $F = 100 \sin 31.4 t$, tentukan amplitud getaran blok dan juga daya yang dihantar ke lantai.

[EMK 351]

- 7 -

An electric motor of mass 68 kg is mounted on an isolator block of mass 1200 kg and the natural frequency of the total assembly is 3 Hz with a damping factor of $\xi = 0.10$. (Refer Figure Q3[b]). If there is an unbalance in the motor that results in a harmonic force of $F = 100 \sin 31.4 t$, determine the amplitude of vibration of the block and the force transmitted to the floor.

(50 markah)



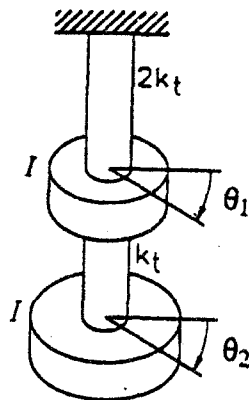
Rajah S3[b]
Figure Q3[b]

- S4. [a] Tentukan mod-mod utama dan frekuensi-frekuensi tabiinya bagi sistem kilas yang ditunjukkan dalam Rajah S4[a]. k_T dan $(2k_T)$ adalah kekakuan kilas. Momen inersia bagi setiap cakera adalah I . Konfigurasi sistem dinyatakan dengan koordinat sudut θ_1 and θ_2 .

Determine the principal modes and natural frequencies for the torsional system as shown in Figure Q4[a]. k_T and $(2k_T)$ are the torsional stiffnesses and mass moment of inertia of each disc is I . The configuration of the system is expressed by the angular coordinates θ_1 and θ_2 .

(50 markah)

...8/-

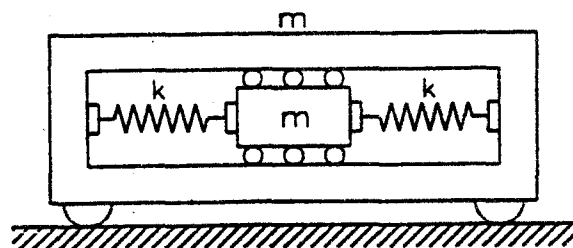


Rajah S4[a]
Figure Q4[a]

- [b] Jisim seismik m diletakkan dalam kerangka antara dua batang pegas. Setiap satu dengan pekali kekakuan k seperti yang ditunjukkan dalam Rajah S4[b]. Kerangka tersebut juga mempunyai jisim yang serupa iaitu m . Tentukan frekuensi tabii bagi getaran bebasnya. Abaikan geseran.

A seismic mass m is mounted in a frame between two springs each with a modulus of k as shown in Figure Q4[b]. The frame has identical mass of m . Determine the natural frequencies of free vibration. There is no friction.

(50 markah)



Rajah S4[b]
Figure Q4[b]

BAHAGIAN B

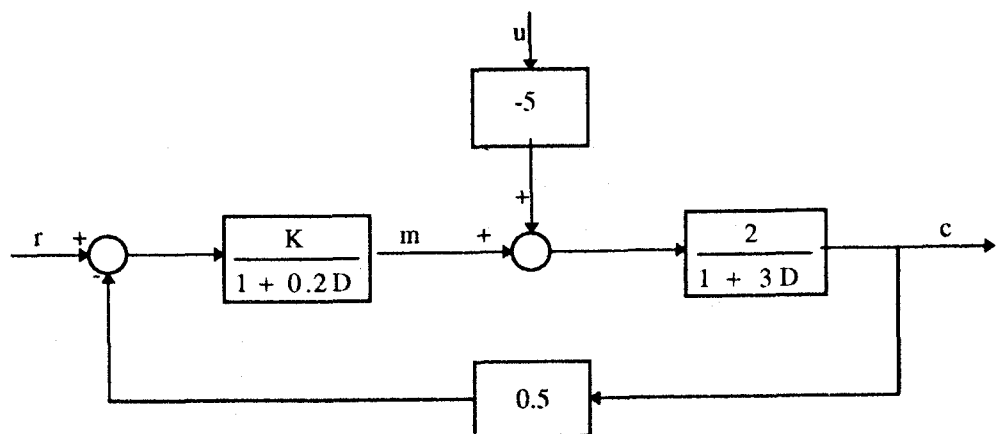
- S5. Gambarajah blok untuk satu sistem yang mengawal kemudi sebuah kapal ditunjukkan dalam Rajah S5[a]. Titik rujukan kendalian adalah $V_i = C_i = 100$, $M_i = 50$ and $U_i = 10$. Perhatikan bahawa pembolehubah V adalah isyarat perintah, R adalah masukan rujukan, M pembolehubah yang dimanipulasi, U isyarat gangguan dan C pembolehubah terkawal. Subskrip i menunjukkan pembolehubah pada titik rujukan dan abjad kecil menunjukkan perubahan bagi setiap pembolehubah. Operator D adalah simbol yang menunjukkan kebezaan berbanding masa dan K adalah pemalar.

[a] Tuliskan persamaan untuk kendalian keadaan mantap.

The block diagram for a system that controls the steering of a ship is shown in Figure Q5[a]. The reference point of operation is $V_i = C_i = 100$, $M_i = 50$ and $U_i = 10$. Note that the variables, V , R , M , U and C are command signal, reference input, manipulated variable, disturbance signal and controlled variable respectively. The subscript i indicates the variables at reference point and the small letters indicate the changes in the respective variables. The operator D is a symbol which indicates differentiation with respect to time and K is a constant.

[a] Write the equation for steady-state operation

(40 markah)



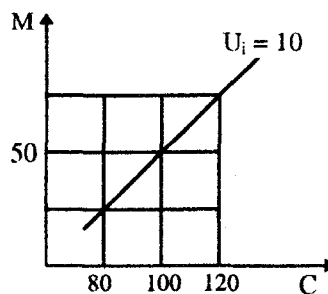
Rajah S5[a]
Figure Q5[a]

...10/-

- [b] Rajah S5[b] menunjukkan ciri-ciri keadaan mantap bagi satu sistem yang hendak dikawal berdasarkan Rajah S5[a]. Lukiskan kembali Rajah S5[b] dalam kertas jawapan anda dan letakkan nombor yang betul pada paksi M bagi lengkok kendalian keadaan mantap supaya garisan beban $U_i = 10$ mempunyai kecerunan yang betul. Lukis garisan beban untuk $U = 12$.

Figure Q5[b] represents the steady-state characteristics for system to be controlled of Figure Q5[a]. Redraw Figure Q5[b] in your answer sheet and put the correct numbers on the M axis of the steady-state operating curves so that the load line $U_i = 10$ has the correct slope. Draw the load line for $U = 12$.

(30 markah)



Rajah S5[b]
Figure Q5[b]

- [c] Rujuk pada Rajah S5[b], tentukan nilai K di mana apabila beban berubah dari 10 kepada 12 unit, perubahan terhadap pembolehubah terkawal tidak akan melebihi 5 unit. Lukiskan garisan pengawal $V_i = 100$ yang terhasil.

Based on Figure Q5[b], determine the value of constant K such that when the load U changes from 10 to 12 units, the change in the controlled variable C will not exceed 5 units. Draw the resulting controller line $V_i = 100$.

(30 markah)

...11/-

- S6.** Satu sistem untuk mengawal kelajuan mesin larik terkawal komputer ditunjukkan dalam Rajah S6. Dengan menggunakan Jelmaan Laplace, tentukan sambutan $c(t)$ untuk setiap kes-kes berikut:

A system for controlling the speed of a computer-controlled lathe is shown in Figure Q6. Use Laplace transform to determine the response $c(t)$ for each of the following cases:

- [a]** masukan rujukan adalah fungsi unit tangga, $r(t) = u(t)$,
tiada isyarat gangguan, $d(t) = 0$, dan
keadaan-keadaan asal, $c(0) = \dot{c}(0) = 0$

*reference input is a unit step function, $r(t) = u(t)$,
no disturbance signal, $d(t) = 0$, and
initial conditions, $c(0) = \dot{c}(0) = 0$*

(30 markah)

- [b]** tiada masukan rujukan, $r(t) = 0$,
isyarat gangguan adalah fungsi unit tangga, $d(t) = u(t)$, dan
semua keadaan asal adalah sifar, $c(0) = \dot{c}(0) = 0$

*no reference input, $r(t) = 0$,
disturbance signal is a unit step function, $d(t) = u(t)$, and
all initial conditions are zero, $c(0) = \dot{c}(0) = 0$*

(30 markah)

- [c]** tiada masukan rujukan, $r(t) = 0$
tiada isyarat gangguan, $d(t) = 0$, dan
keadaan asal adalah $c(0) = 1$, and $\dot{c}(0) = 2$

*no reference input, $r(t) = 0$
no disturbance signal, $d(t) = 0$, and
initial conditions are $c(0) = 1$, and $\dot{c}(0) = 2$*

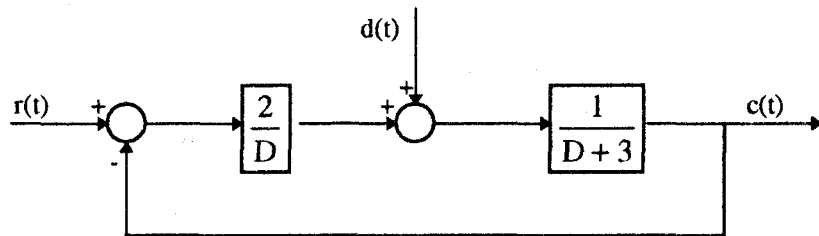
(30 markah)

...12/-

- [d] Berikan komen anda tentang keputusan yang diperolehi dari [a], [b] dan [c] di atas.

Give your comments on the results obtained in [a], [b] and [c] above.

(10 markah)



Rajah S6
Figure Q6

- S7. Satu sistem kawalan dengan satu gangguan luaran ditunjukkan dalam Rajah S7. Tentukan sambutan $c(t)$ apabila:

A control system with an external disturbance is shown in Figure Q7. Determine the response $c(t)$ when:

- [a] nilai dapatan $K = 5$,
masukan rujukan, $r(t) = 0$
isyarat gangguan, $d(t) = 0$, dan
keadaan-keadaan asal adalah $c(0) = 4$ dan $\dot{c}(0) = 0$

*value of the gain $K = 5$,
reference input, $r(t) = 0$
disturbance signal, $d(t) = 0$, and
initial conditions are $c(0) = 4$ and $\dot{c}(0) = 0$*

(30 markah)

...13/-

- [b] nilai dapatan $K = 9$,
 masukan rujukan adalah fungsi tangga, $r(t) = u(t)$,
 isyarat gangguan, $d(t) = 0$ dan
 keadaan-keadaan asal adalah sifar, $c(0) = \dot{c}(0) = 0$

*value of the gain $K = 9$,
 reference input is a step function, $r(t) = u(t)$,
 disturbance signal, $d(t) = 0$ and
 initial conditions are zero, $c(0) = \dot{c}(0) = 0$*

(30 markah)

- [c] nilai dapatan, $K = 25$,
 tiada masukan rujukan, $r(t) = 0$,
 isyarat gangguan adalah satu fungsi dedenyut, $d(t) = \delta(t)$ dan
 keadaan-keadaan asal adalah , $c(0) = 0$, dan $\dot{c}(0) = 6$

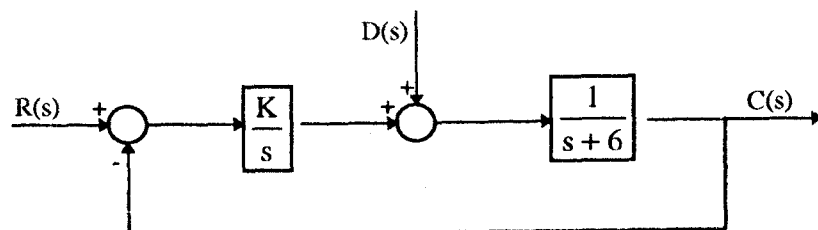
*value of the gain, $K = 25$,
 no reference input, $r(t) = 0$,
 the disturbance signal is an impulse function, $d(t) = \delta(t)$ and
 initial conditions are , $c(0) = 0$, and $\dot{c}(0) = 6$*

(30 markah)

- [d] Berikan komen anda tentang nilai-nilai yang diperolehi di dalam [a],
 [b] dan [c] di atas.

Give your comments on the results obtained in [a], [b] and [c] above.

(10 markah)



Rajah S7
 Figure Q7

...14/-

- S8. [a] Lakarkan plot londa punca untuk persamaan-persamaan ciri yang berikut:

$$(s^2 + 8s + 25) + Ks(s + 4) = 0$$

Sketch the root-locus plot for the following characteristic equation.

$$(s^2 + 8s + 25) + Ks(s + 4) = 0$$

(70 markah)

- [b] Daripada plot londa-punca yang diperolehi dari S8[a], tentukan nilai dapatan K supaya sistem tersebut menjadi:-

- [i] redam kritikal
- [ii] lampau redam
- [iii] kurang redam

From the root-locus plot in question Q8[a], determine the value of the gain K such that the system will be:

- [i] critically damped
- [ii] overdamped
- [iii] underdamped

(30 markah)

LAMPIRAN 1**Laplace transform pairs**

$f(t)$	$F(s)$	$f(t)$	$F(s)$
$u_1(t)$	1	$t^n e^{at}$	$\frac{n!}{(s-a)^{n+1}}$
$u(t)$	$\frac{1}{s}$	$\sin \omega t$	$\frac{\omega}{s^2 + \omega^2}$
t	$\frac{1}{s^2}$	$\cos \omega t$	$\frac{s}{s^2 + \omega^2}$
e^{at}	$\frac{1}{s-a}$	$e^{at} \sin \omega t$	$\frac{\omega}{(s-a)^2 + \omega^2}$
t^n	$\frac{n!}{s^{n+1}}$	$e^{at} \cos \omega t$	$\frac{s-a}{(s-a)^2 + \omega^2}$

Time function	Laplace transform
$kf(t)$	$kF(s)$
$f_1(t) \pm f_2(t)$	$F_1(s) \pm F_2(s)$
$f'(t)$	$sF(s) - f(0)$
$f''(t)$	$s^2 F(s) - sf(0) - f'(0)$
$f^{(n)}(t)$	$s^n F(s) - s^{n-1} f(0) - \dots - f^{(n-1)}(0)$
$f^{(-1)}(t)$	$\frac{F(s)}{s} + \frac{f^{(-1)}(0)}{s}$
$f(at)$	$\frac{F(s)}{s^n} + \frac{f^{(-1)}(0)}{s^n} + \dots + \frac{f^{(-n)}(0)}{s}$
$e^{at} f(t)$	$\frac{1}{a} F\left(\frac{s}{a}\right)$
$t^n f(t)$	$F(s-a)$
$f(\tau) = f(t-t_0)$	$e^{-t_0 s} F(s)$
$\int_0^t f(\lambda) g(t-\lambda) d\lambda$	$F(s)G(s)$